

Document downloaded from:

<http://hdl.handle.net/10251/46848>

This paper must be cited as:

Jambrina Gomez, A.; Barrachina Celda, TM.; Miró Herrero, R.; Verdú Martín, GJ. (2011). Implementación de nuevas capacidades en TRAC-BF1/NEM para la simulación de transitorios con inyección de Boro. Nuclear España. (321 bis):108-108.



The final publication is available at

<http://www.sne.es/es/recursos/num-321-bis-septiembre-de-2011>

Copyright Senda Editorial, S.A.

IMPLEMENTACIÓN DE NUEVAS CAPACIDADES EN TRAC-BF1/NEM PARA LA SIMULACIÓN DE TRANSITORIOS CON INYECCIÓN DE BORO

A. Jambrina, T. Barrachina, R. Miró, G. Verdú

Instituto de Seguridad Nuclear, Radiofísica y Medioambiental (ISIRYM)

Universitat Politècnica de València - UPV

Camí de Vera s/n, 46021 Valencia

anjamgo@etsii.upv.es, tbarrachina@iqn.upv.es, rmiro@iqn.upv.es, gverdu@iqn.upv.es

SINOPSIS

El código acoplado TRAC-BF1/NEM es un código neutronico-termohidráulico que permite la simulación de transitorios considerando neutrónica 3D y procesos termohidráulicos en múltiples canales con geometría 1D.

TRAC-BF1 y NEM se puede ejecutar tanto en modo stand-alone, es decir, sin acoplar, como acoplados. En los cálculos en estado estacionario con NEM sin acoplar, las condiciones termohidráulicas en cada nodo (temperatura del combustible y densidad del moderador) y la concentración de Xenón en cada nodo, se toman de SIMULATE3. El código fuente de NEM se ha modificado para poder leer estas condiciones de ficheros externos cuando se ejecuta sin acoplar.

El acoplamiento entre TRAC-BF1 y NEM sigue un esquema de integración en el que la solución termohidráulica de TRAC-BF1 se envía a NEM para incorporar los efectos de la realimentación a través de las secciones eficaces. TRAC-BF1 resuelve las ecuaciones de la conducción del calor en las estructuras de calor utilizando la distribución de potencia calculada por NEM. El acoplamiento se ha llevado a cabo utilizando las funciones del protocolo de comunicación PVM (Parallel Virtual Machine).

El estudio que se presenta en este artículo constituye un avance en la simulación de la inyección, transporte y mezcla de boro en el reactor, aumentando las capacidades del código TRACBF1/NEM. Este artículo presenta los cambios introducidos en el código fuente de TRACBF1/NEM, para poder simular la inyección de boro de una manera más realista.

Para validar las modificaciones introducidas en ambos códigos, se ha simulado el estado estacionario de un BWR operando a plena potencia. Los resultados se comparan con SIMULATE3, que se utiliza como referencia para obtener las secciones eficaces aplicando la metodología SIMTAB.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo del presente trabajo pretende incluirse dentro del marco de mejoras sobre los códigos acoplados termohidráulico-neutrónicos 3D.

El objetivo del proyecto es la modificación de los códigos acoplados TRAC-BF1 [1] / NEM [2], a fin de poder simular los efectos de la concentración de boro, que tendrán lugar en el caso de inyección del mismo, para el análisis de accidentes de inserción de reactividad (RIA), en los reactores tipo BWR.

Estas simulaciones se harán posibles a través de la implementación del procesamiento de secciones eficaces boradas en el código NEM que no poseía esta capacidad de análisis de transitorios con inyección de agua borada.

Las modificaciones pertinentes a tal efecto en el código neutrónico NEM permiten su uso sin acoplar y ejecución acoplado con código termohidráulico TRAC-BF1.

El acoplamiento de ambos códigos se ha realizado utilizando la interfaz de comunicación *Parallel Virtual Machine* (PVM).

La cualificación de las modificaciones introducidas en ambos códigos se ha llevado a cabo mediante la comparación de los resultados de un modelo sencillo en el cual se simula la disolución de boro en el núcleo de un reactor BWR respecto al código de referencia SIMULATE-3 [3]. A este efecto, se procederá en dos pasos, el primero, la cualificación de la capacidad de análisis propiamente dicha, introducida en el código neutrónico NEM, para su empleo no acoplado (cuyos resultados también se validarán respecto a los obtenidos de la simulación del código neutrónico PARCS [4] [5]); el segundo será la cualificación del código acoplado 3D TRAC-BF1/NEM, en función del código de referencia, SIMULATE-3 y de los resultados obtenidos para el código NEM, puesto que la aplicación de las modificaciones se verá traducida en la simulación de transitorios con este código acoplado.

2. MODIFICACIONES INTRODUCIDAS EN LOS CÓDIGOS

Los cálculos en estado estacionario en NEM (sin acoplar) se realizan tomando las condiciones termohidráulicas (temperatura del combustible y densidad del moderador) y la concentración de xenon del caso de referencia de SIMULATE3. Para ello NEM lee los ficheros de condiciones de contorno: *TFUS*, *DENS* y *3D_Xenon_Number_Density.txt*.

Para poder tener en consideración los efectos que produce la disolución de boro, se han realizado las modificaciones pertinentes sobre el código neutrónico NEM en su versión de simulación sin acoplar NEM_SSA. De esta forma, NEM obtiene la lectura de la concentración de boro a partir de la lectura del fichero de condición de contorno *BOR*, cuya estructura y/o formato es análogo al de los ficheros *TFUS* y *DENS*, donde las correspondientes concentraciones de boro nodales, se presentan en mapas radiales por niveles axiales.

Por su parte, el acoplamiento vía PVM de los códigos termohidráulico TRAC-BF1 y neutrónico NEM permite el intercambio de información entre códigos. De esta forma, las condiciones de contorno que NEM obtenía de la lectura de los ficheros *TFUS* y *DENS* (temperatura del combustible y densidad del moderador) ahora las recibe de TRAC-BF1 a través de la PVM. Manteniéndose la lectura del fichero *3D_Xenon_Number_Density.txt* para la recepción de la concentración de xenon.

En virtud del intercambio de datos que se produce entre TRAC-BF1 y NEM, se han realizado las modificaciones necesarias sobre ambos códigos, de forma que la concentración de boro pueda ser recogida en TRAC-BF1, en la versión acoplada, como condición de contorno y transmitida a NEM, para el cálculo de transitorios.

En ambos casos, la lectura de la concentración de boro está condicionada a la existencia de un fichero de condiciones de contorno denominado *PPM_ranges*, el cual contiene el rango de interpolación para el cálculo del efecto de una concentración de boro dada.

Para llevar a cabo el procesamiento del efecto que produce la disolución de boro, es decir, el procesamiento de las secciones eficaces boradas es necesario disponer de una serie de ficheros, así como de una implementación específica en los códigos.

Dada una concentración de boro nodal leída, bien a partir del fichero de condición de contorno *BOR* para el caso de NEM sin acoplar, bien a través del intercambio de variables a través de la PVM, *chanbor(ichan3d, ntchan)*; un rango de interpolación determinado por el fichero *PPM_ranges*; así como los ficheros correspondientes a las secciones eficaces no boradas y boradas, *XSECLIB* y *XSECLIBB*, se lleva a cabo un proceso de interpolación lineal nodal grupo a grupo de las secciones eficaces, para el cual se ha ajustado dentro de un rango la temperatura del combustible y la densidad del moderador, a la vez que la concentración de boro según los parámetros obtenidos del fichero *PPM_RANGES*.

De esta forma se obtienen unas secciones eficaces para una concentración de boro dada, a partir de la interpolación de las mismas para un rango de concentraciones específico.

Ello contribuye a dotar de mayor realismo al cálculo llevado a cabo por los códigos termohidráulico-neutrónicos 3D, TRAC-BF1/NEM, al tener en consideración los efectos que sobre el núcleo del reactor produce la inyección de boro.

Tabla 1.- Subrutinas modificadas y añadidas en el código TRAC-BF1 y NEM

TRAC-BF1	<i>alcm3d.f</i>			
	<i>datato3d.f</i>			
NEM	<i>bbmain1a.f</i>	<i>bbtrans.f</i>	<i>powedit.f</i>	<i>xsecin.f</i>
	<i>bbmain1c.f</i>	<i>dump.f</i>	<i>powpass.f</i>	<i>xsecinb.f</i>
	<i>bbmain1d.f</i>	<i>getth.f</i>	<i>rstart3d.f</i>	<i>xseclib.f</i>
	<i>bbstea.f</i>	<i>nem.f</i>	<i>thermal.f</i>	<i>xseclu.f</i>

3. CUALIFICACIÓN DE LAS MODIFICACIONES INTRODUCIDAS EN LOS CÓDIGOS

3.1. Descripción del modelo

Para verificar la cualificación de las modificaciones que se han introducido en ambos códigos se ha utilizado un modelo sencillo del núcleo del reactor que se explica con detalle en esta sección.

a) Modelo termohidráulico

Para efectuar el análisis termohidráulico-neutrónico del transitorio considerado se ha desarrollado una nodalización termohidráulica reducida que reproduce sólo el núcleo del reactor. La figura 1 muestra el modelo termohidráulico en formato SNAP.

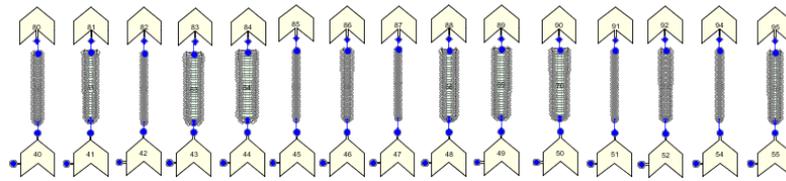


Figura 1.- Representación gráfica de cada componente CHAN unido a su correspondiente componente FILL y BREAK.

Las condiciones de contorno de entrada y salida a cada uno de los componentes CHAN se han representado mediante el empleo de componentes tipo FILL y tipo BREAK. Los componentes FILL modelan las condiciones de contorno de entrada para el CHAN; para ello se ha de especificar el flujo másico de entrada (kg/s) así como la temperatura (K). Análogamente, los componentes BREAK simulan las condiciones de salida para cada CHAN, especificándose en este caso la presión (Pa).

b) Modelo neutrónico

El modelo neutrónico utiliza dos grupos de neutrones rápidos y seis grupos de neutrones diferidos. La condición de contorno para la ecuación de la difusión de neutrones es flujo nulo en la superficie exterior del reflector.

Las secciones eficaces se han generado mediante la aplicación de la metodología SIMTAB. Los ficheros obtenidos se convierten automáticamente al fichero *XSECLIB* de entrada al código NEM. El número de composiciones neutrónicas consideradas son 1103.

Radialmente el núcleo está dividido en celdas y cada una corresponde a un elemento de combustible, existiendo también reflector radial.

El núcleo considerado contiene un total de 145 barras de control que se han agrupado en 3 bancos diferentes según su grado inserción.

3.2. Resultados Obtenidos con el Código Neutrónico 3D NEM

En esta sección se muestran los parámetros y las variables más importantes que han sido obtenidas mediante la ejecución del modelo de núcleo propuesto. Para la validación del estado estacionario se comparan la constante de multiplicación, k_{ef} , y los perfiles axiales de potencia, para una configuración y estado dados del núcleo simulado mediante SIMULATE-3

Las condiciones de contorno de NEM, temperatura del combustible, densidad del moderador y concentración de boro de cada nodo 3D, como se ha mencionado en el apartado anterior, se toman del código SIMULATE-3. Se simulan tres casos, dos correspondientes a los casos extremos con ppm consideradas en los ficheros de secciones eficaces y un tercero en el que la concentración de boro tiene un valor intermedio. Con ello se presente comprobar que la interpolación entre secciones eficaces se ha implementado en NEM correctamente. Los tres casos considerados tienen 0, 650 y 1500 ppm respectivamente.

A su vez, se realiza una segunda comparación de los resultados de NEM con respecto al código neutrónico PARCS (que lee los mismos ficheros de condiciones de contorno).

En la tabla 2 se muestran los valores de k_{ef} de cada uno de los casos simulados. En la figuras 5 y 6 se muestran los perfiles de potencia axial de cada uno de los casos considerados.

Tabla 2.- Resumen resultados para la validación del código NEM

		SIN INTERPOLACIÓN			CON INTERPOLACIÓN		
		0 PPM	650 PPM	1500 PPM	0 PPM	650 PPM	1500 PPM
SIMULATE-3	<i>referencia</i>	0.99988	0.96574	0.93147	0.99988	0.96574	0.93147
NEM	k_{ef}	1.00222	0.96761	0.93293	1.00222	0.96761	0.93293
	<i>ERROR (pcm)</i>	242	186.73	146.03	242	186.69	146.03
	<i>RMS</i>	4.031%	2.565%	3.039%	4.031%	2.565%	3.039%
PARCS	k_{ef}	1.00068	0.96653	0.93196	1.00068	0.96653	0.93196
	<i>ERROR (pcm)</i>	88.7	79.4	49.3	88.7	79.4	49.3
	<i>RMS</i>	4.255%	2.624%	3.159%	4.255%	2.624%	3.159%

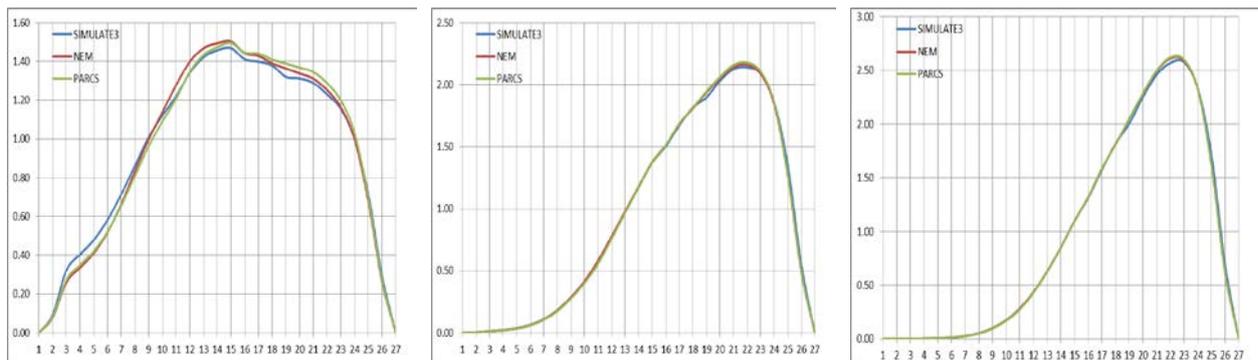


Figura 5.- Perfiles axiales de potencia según SIMULATE-3, NEM y PARCS para el caso de 0, 650 Y 1500 ppm sin interpolación.

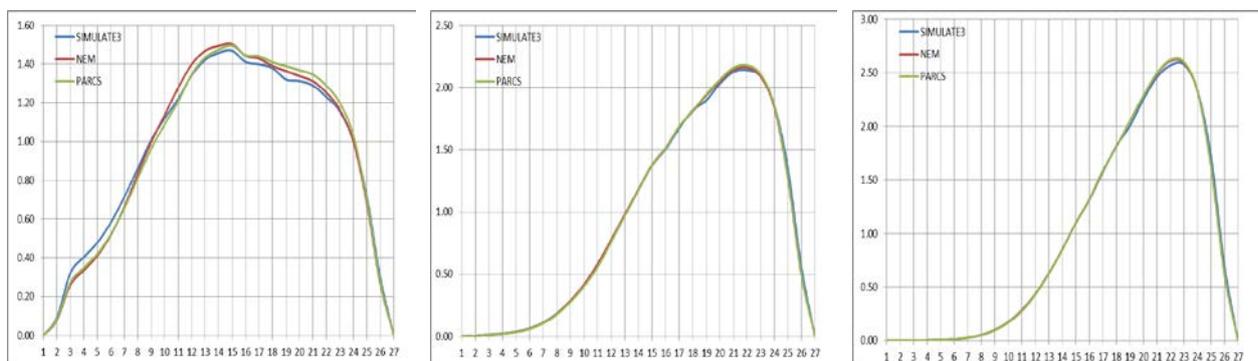


Figura 6.- Perfiles axiales de potencia según SIMULATE-3, NEM y PARCS para el caso de 0, 650 Y 1500 ppm con interpolación.

3.3. Resultados Obtenidos con el Código Termohidráulico-Neutrónico Acoplado TRAC-BF1/NEM

La cualificación de las modificaciones introducidas en el código acoplado TRAC-BF1/NEM se lleva a cabo de forma análoga al procedimiento de cualificación del código neutrónico 3D NEM.

En este caso se ha de tener en cuenta la realimentación de variables entre los códigos termohidráulico y neutrónico vía PVM. Las variables que TRAC-BF1 envía y que, recíprocamente, NEM recibe son: la temperatura del fuel, la densidad del moderador, la concentración de boro y la fracción de control; análogamente, las variables que NEM envía y que, recíprocamente, TRAC-BF1 recibe es la distribución de potencia nodal 3D.

Los resultados obtenidos con el código acoplado se muestran en la tabla 3. En la figuras 7 y 8 se muestran los perfiles de potencia axial de cada uno de los casos considerados.

Tabla 3.- Resumen resultados para la validación del código TRAC-BF1/NEM

		SIN INTERPOLACIÓN			CON INTERPOLACIÓN		
		0 PPM	650 PPM	1500 PPM	0 PPM	650 PPM	1500 PPM
SIMULATE-3	<i>referencia</i>	0.99988	0.96574	0.93147	0.99988	0.96574	0.93147
NEM	<i>k-ef</i>	1.00222	0.967607	0.932930	1.00222	0.967607	0.932930
	<i>ERROR (pcm)</i>	242	186.69	146.03	242	186.69	146.03
	<i>RMS</i>	4.031%	2.565%	3.039%	4.031%	2.565%	3.039%
TRACB/NEM	<i>k-ef</i>	1.00280	0.964566	0.929173	1.00280	0.964566	0.929173
	<i>ERROR (pcm)</i>	300.2	117.4	229.66	300.2	117.4	229.66
	<i>RMS</i>	7.462%	5.782%	6.110%	7.462%	5.782%	6.110%

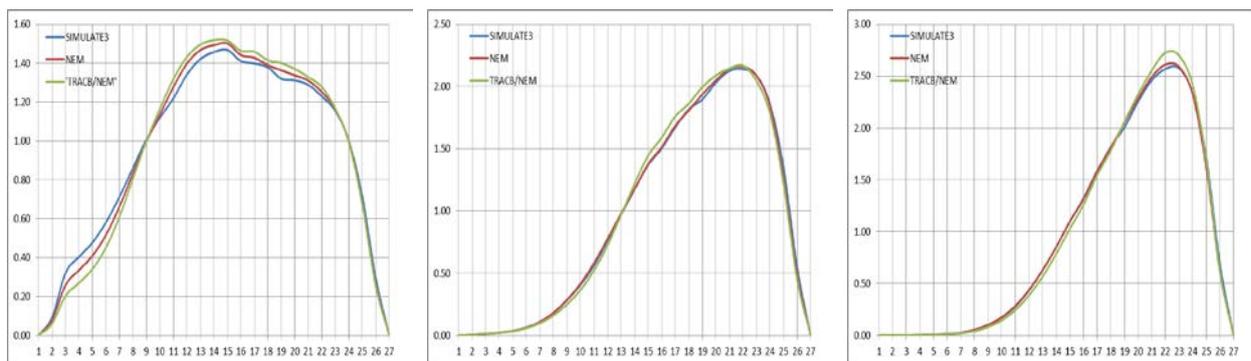


Figura 7.- Perfiles axiales de potencia según SIMULATE-3, NEM y TRAC-BF1/NEM para el caso de 0, 650 Y 1500 ppm sin interpolación.

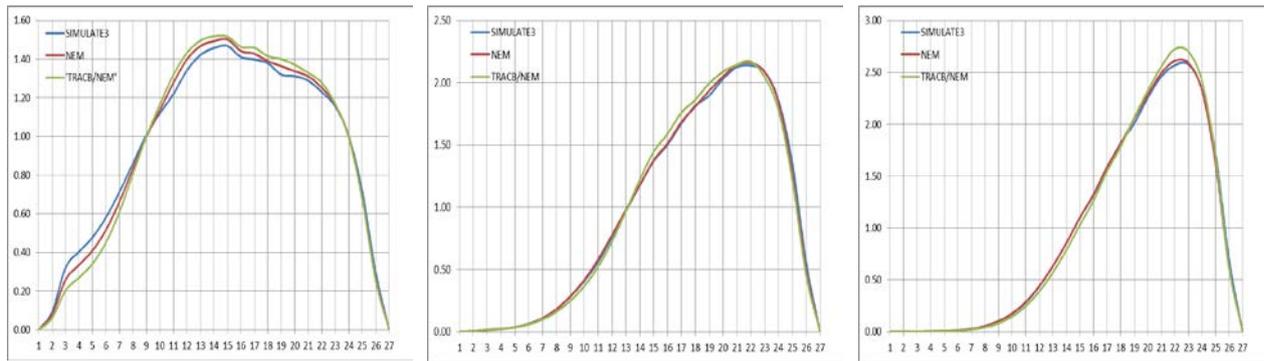


Figura 8.- Perfiles axiales de potencia según SIMULATE-3, NEM y TRAC-BF1/NEM para el caso de 0, 650 Y 1500 ppm con interpolación.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se han introducidos mejoras en los códigos TRAC-BF1 y NEM con el fin de poder simular transitorios en los que se requiere la inyección de boro en reactores tipo BWR.

Teniendo en cuenta que se considera como criterios de aceptación para el proceso de cualificación de las modificaciones introducidas en los códigos TRAC-BF1 y NEM, a fin de poder llevar a cabo simulaciones mediante el código acoplado 3D TRAC-BF1/NEM los siguientes:

- Error (pcm) respecto a la constante de multiplicación efectiva, $k_{ef} < 500$ pcm.
- Error cuadrático medio, RMS, respecto a la distribución de potencia axial $< 10\%$

Evaluando los resultados obtenidos tanto para el caso de la ejecución del código neutrónico NEM sin acoplar, como del código acoplado TRAC-BF1/NEM, se observa que en todos los casos analizados el error cometido con respecto a la constante de multiplicación efectiva, k_{ef} , así como el error respecto al perfil de potencias axial se encuentran por debajo del límite superior establecido por los criterios anteriores. Dándose como positiva la evaluación y, en consecuencia, cualificándose las modificaciones implementadas.

Como se observa, pese a cumplir con los criterios establecidos, en el caso de la simulación con el código acoplado TRAC-BF1/NEM, los errores cometidos son superiores al caso de la simulación con NEM sin acoplar. Ello se debe a que cuando se ejecuta NEM sin acoplar bajo las correspondientes condiciones de contorno es equivalente a tener condiciones termohidráulicas propias para cada canal termohidráulico; sin embargo cuando se ejecuta TRAC-BF1/NEM acoplado, se cuenta con un número de componentes CHAN (en el caso de cualificación, 15 canales), que agrupan a una serie de canales termohidráulicos, con lo que se están compartiendo condiciones termodinámicas en diferentes nodos, ya que éstas son únicas para cada componente CHAN; lo que implica cometer un error.

REFERENCIAS

- [1] Idaho National Laboratory, “TRAC-BF1/MOD1: An Advanced Best Estimate Computer Program For Boiling Water Reactor Accident Analysis. Vol 1: Model Description”, INEL, Febrero 1992.
- [2] Department of Mechanical & Nuclear Engineering of Penn State University, “NEM Theory Manual”, Pennsylvania, 2009
- [3] Covington, L.J., Cronin, J.T., Umbarger, J.A., “SIMULATE-3: Advanced Three-dimensional Two-group Reactor Analysis Code” Studsvik Scandpower, Studsvik/SOA-95/15 Rev 2, 1995
- [4] University of Michigan, “PARCS v3.0 U.S. NRC Core Neutronics Simulator. Theory Manual”, Rockville, 2009.
- [5] R. Miró, T. Barrachina, A. Abarca, G. Verdú, C. Pereira, *Implementation of control rod movement and boron injection options by using control variables in RELAP5/PARCS V2.7 coupled code*, INAC 2009.